

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平 8-505961

(43) 公表日 平成8年(1996)6月25日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I
G 0 2 B	27/28	A	7625-2 K
	5/30		9514-2 H
G 0 2 F	1/01	F	9411-2 K
	1/13	5 0 5	7724-2 K
	1/313		7625-2 K

審査請求 未請求 予備審査請求 有

(全 3 2 頁)

J1040 U.S. PTO
10/061307
02/04/02

(21) 出願番号 特願平6-517216
 (86) (22) 出願日 平成6年(1994)1月18日
 (85) 翻訳文提出日 平成7年(1995)7月20日
 (86) 国際出願番号 PCT/US94/00776
 (87) 国際公開番号 W094/17436
 (87) 国際公開日 平成6年(1994)8月4日
 (31) 優先権主張番号 08/006, 893
 (32) 優先日 1993年1月21日
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (81) 指定国 EP (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M C, NL, PT, SE), J P

(71) 出願人 イーテック・ダイナミックス・インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国、95161 カリフォルニア州、サン・ホーゼイ、ランディ・アベニュー、1885
 (72) 発明者 パン、ジン・ジョン
 アメリカ合衆国、95035 カリフォルニア州、ミルピタス、ウェストリッジ・ドライブ、978
 (72) 発明者 シー、ミン
 アメリカ合衆国、95035 カリフォルニア州、ミルピタス、デュボワ・ストリート、2349
 (74) 代理人 弁理士 深見 久郎 (外3名)

(54) 【発明の名称】 偏光モード分散の低い光学装置

(57) 【要約】

本発明は光アイソレータ内の複屈折板 (20) の形態での補償素子を提供し、これは入力光ファイバからの光信号を視準させるための第1のGRINレンズと、第1の複屈折偏光子楔 (12) と、光学ファラデー旋光器 (13) と第2の複屈折偏光子楔 (14) と、出力光ファイバに光信号を再び視準させるための第2のGRINレンズとを用いる。板 (20) の速光軸がファラデー旋光器 (13) の板 (20) と同じ側の偏光子 (12) の速光軸と垂直になるように配置し、かつ板 (20) の厚さ (d) を予め定められた態様で選択することによって、光アイソレータを介した偏光モード分散が実質的に低減される。本発明はまた、アイソレータを介したある偏光モード分散に繋がる「ウォーク・オフ」を最小にすることを可能にする。

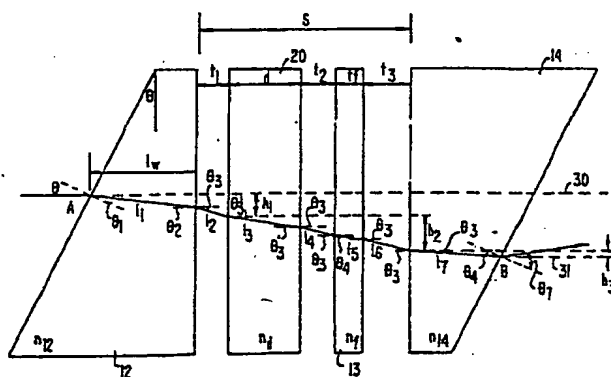


FIG. 3.

【特許請求の範囲】

1. 光ファイバのための光アイソレータであって、

複屈折材料の第1の偏光子を備え、前記偏光子は、前記偏光子を介して前記材料の光軸に沿った偏光モードでの光学信号の光路距離が前記光軸に垂直な偏光モードでの前記光学信号の光路距離とは異なるように2つの屈折率を有し、さらに

前記2つの光路に配置される複屈折材料の板を備え、前記材料は、前記第1の偏光子および前記板を介した一方の偏光モードでの前記光学信号と他方の偏光モードでの前記光学信号との光路の差が実質的に低減されるように選択された屈折率を有し、

それによって前記アイソレータを介した前記光学信号の偏光モード分散が実質的に低減される、光アイソレータ。

2. 前記第1の偏光子および前記板の各々が速軸を有し、前記偏光子の前記速軸が前記板の前記速軸に垂直に整列される、請求項1に記載の光アイソレータ。

3. 前記アイソレータがファラデー旋光器をさらに含み、前記第1の偏光子および前記板は前記液晶セルの同じ側に配置される、請求項2に記載の光アイソレータ。

4. 前記第1の偏光子がニオブ酸リチウムを含み、前記複屈折材料の板がルチルを含み、偏光モード分散が実質的に低減されるように配置される、請求項1に記載の光アイソレータ。

5. ニオブ酸リチウムの第2の偏光子をさらに備える、請求項4に記載の光アイソレータ。

6. 前記第1の偏光子がニオブ酸リチウムを含み、前記複屈折材料の板がニオブ酸リチウムを含み、偏光モード分散が実質的に低減されるように配置される、請求項1に記載の光アイソレータ。

7. ニオブ酸リチウムの第2の偏光子をさらに備える、請求項6に記載の光アイソレータ。

8. 少なくとも1つの複屈折ニオブ酸リチウム結晶偏光素子を有する光アイソレータであって、その改良点が、前記光アイソレータを介した偏光モード分散が実

質的に低減されるように、前記1つの複屈折ニオブ酸リチウム結晶偏光素子に関して配置されるルチル結晶を含む、光アイソレータ。

9. 少なくとも1つの複屈折ニオブ酸リチウム結晶偏光素子を有する光アイソレータであって、その改良点が、前記光アイソレータを介した偏光モード分散が実質的に低減されるように、前記1つの複屈折ニオブ酸リチウム結晶偏光素子に関して配置される第2のニオブ酸リチウム結晶を含む、光アイソレータ。

10. 第1の光ファイバを保持するための第1のスリーブと、第1のGRINレンズと、第1の偏光子と、光学ファラデー旋光器と、第2の偏光子と、第2のGRINレンズと、第2の光ファイバを保持するための第2のスリーブと

を有する光ファイバのための改良された光アイソレータにおいて、その改良点として、前記光アイソレータを介した偏光モード分散を実質的に低減するための手段を前記光アイソレータがさらに備える、改良された光アイソレータ。

11. 少なくとも1つの前記偏光子が、速光軸を有するニオブ酸リチウムの複屈折結晶を含み、前記実質的に低減する手段が、前記アイソレータを介した偏光モード分散が実質的に低減されるように前記ニオブ酸リチウムの速光軸に垂直に配置される速光軸を有する複屈折材料を含む、請求項10に記載の改良された光アイソレータ。

12. 前記第1および第2の偏光子がニオブ酸リチウムの複屈折結晶を含む、請求項11に記載の改良された光アイソレータ。

13. 前記実質的に低減する手段が、前記第1の偏光子と前記ファラデー旋光器との間に配置されたニオブ酸リチウムの板を含む、請求項12に記載の改良された光アイソレータ。

14. 前記実質的に低減する手段が、前記第1の偏光子と前記ファラデー旋光器との間に配置されたルチルの板を含む、請求項12に記載の改良された光アイソレータ。

15. 前記実質的に低減する手段が、前記ファラデー旋光器と前記ニオブ酸リチウムの板との間に配置された前記第2の偏光子を有するニオブ酸リチウムの板を含む、請求項12に記載の改良された光アイソレータ。

16. 前記ニオブ酸リチウムの板が前記第2の偏光子に接触する、請求項15に記載の改良された光アイソレータ。

17. 前記実質的に低減する手段が、前記ファラデー旋光器と前記ルチルの板との間に配置された前記第2の偏光子を有するルチルの板を含む、請求項12に記載の改良された光アイソレータ。

18. 前記ニオブ酸ルチルの板が前記第2の偏光子に接触する、請求項15に記載の改良された光アイソレータ。

19. 入力光ファイバと出力光ファイバとの間の接続のための光アイソレータであって、前記アイソレータは

複屈折材料から形成される第1の偏光子素子を備え、そのため、前記第1の偏光子素子を介して通る前記入力ファイバからの光学信号に関して、前記光学信号が、前記材料の光軸に沿った光学信号偏光モードと前記光軸に垂直の偏光モードとに関して前記第1の偏光子素子を介した異なる光路距離を有し、さらに

複屈折材料から形成される補償素子を備え、前記補償素子は、前記第1の偏光子素子材料の前記光軸に沿った前記光学信号の偏光モードと前記光軸に垂直な前記偏光モードとについて前記第1の偏光子素子を介した光路距離の差が補償されるように配置され、

それによって前記入力ファイバから前記出力ファイバへの前記アイソレータを介した前記光学信号の偏光モード分散が実質的に低減され得る、光アイソレータ。

20. 前記第1の偏光子素子が、光軸に沿った第1の屈折率と前記光軸に垂直な第2の屈折率とを有する複屈折材料を含み、前記第1の率は前記第2の率に等しくなく、

前記補償素子は、光軸に沿った第3の屈折率と前記光軸に垂直な第4の屈折率とを有する複屈折材料を含み、前記第3の率は前記第4の率と等しくなく、かつ前記第1の率および前記第2の率の前記不均等に反対に前記第4の率と関連し、前記補償素子は、その光軸が前記第1の偏光子素子の前記光軸と平行になるように配置される、請求項19に記載の光アイソレータ。

21. 前記第1の偏光子がニオブ酸リチウムを含み、前記補償素子がルチルを含む、請求項20に記載の光アイソレータ。

22. ニオブ酸リチウムから形成される第2の偏光子素子をさらに備える、請求項21に記載の光アイソレータ。

23. 前記補償素子が、前記第1および第2の偏光子素子間に配置された板の形態である、請求項22に記載の光アイソレータ。

24. 前記第1の偏光子素子が、光軸に沿った第1の屈折率と前記光軸に垂直な第2の屈折率とを有する複屈折材料を含み、前記第1の率は前記第2の率に等しくなく、

前記補償素子が、光軸に沿った第3の屈折率と前記光軸に垂直な第4の屈折率とを有する複屈折材料を含み、前記第3の率は前記第4の率と等しくなく、かつ前記第1の率

対前記第2の率と同じ不均等の関係を前記第4の率に対して有し、前記補償素子は、その光軸が前記第1の偏光子素子の前記光軸に垂直になるように配置される、請求項19に記載の光アイソレータ。

25. 前記第1の偏光子および前記補償素子がニオブ酸リチウムを含む、請求項24に記載の光アイソレータ。

26. ニオブ酸リチウムから形成される第2の偏光子素子をさらに備える、請求項25に記載の光アイソレータ。

27. 前記補償素子が、前記第1および第2の偏光子素子間に位置される板の形態である、請求項26に記載の光アイソレータ。

28. 光ファイバのための光学スイッチ／減衰器であって、前記スイッチ／減衰器は第1および第2の複屈折偏光子と、その間の液晶セルとを有し、前記スイッチ／減衰器は

前記複屈折偏光子のうちの一方が2つの屈折率を有し、そのため前記一方の偏光子を介した前記材料の光軸に沿った偏光モードにおける光学信号の光路距離が、前記光軸に垂直な偏光モードにおける前記光学信号の光路距離とは異なり、

前記2つの光路に配置される複屈折材料の板を備え、前記材料は、前記一方の

偏光子および前記板を介した一方の偏光モードにおける前記光学信号と他方の偏光モードでの前記光学信号との光路の差が実質的に低減されるように選択された屈折率を有し、

それによって前記スイッチ／減衰器を介した前記光学信号の偏光モード分散が実質的に低減される、光学スイッチ／減衰器。

29. 前記一方の偏光子および前記板の各々が速軸を有し、前記一方の偏光子の前記速軸が前記板の前記速軸に垂直に整列される、請求項28に記載の光学スイッチ／減衰器。

30. 前記一方の偏光子および前記板が、前記液晶セルの同じ側に位置する、請求項29に記載の光学スイッチ／減衰器。

31. 前記一方の偏光子がニオブ酸リチウムを含み、前記複屈折材料の板がルチルを含み、偏光モード分散が実質的に低減されるように配置される、請求項28に記載の光アイソレータ。

32. 前記偏光子の他方がニオブ酸リチウムを含む、請求項31に記載の光アイソレータ。

33. 前記一方の偏光子がニオブ酸リチウムを含み、前記複屈折材料の板がニオブ酸リチウムを含み、偏光モード分散が実質的に低減されるように配置される、請求項28に記載の光アイソレータ。

34. 前記偏光子の他方がニオブ酸リチウムを含む、請求項33に記載の光アイソレータ。

【発明の詳細な説明】**偏光モード分散の低い光学装置****発明の背景**

本発明は光ファイバ技術に関し、より特定のには光ファイバを介してのレーザによって発生された光信号の反射をブロックするのに有用な光アイソレータに関する。

光ファイバネットワークで繰返し起こる問題は、光ファイバ内の光学、すなわち光信号の分散である。分散によって光学信号の異なる成分が広がる。たとえば、距離によって光ファイバに沿って進む信号の分散が起こり得る。チェックされないか、または補償されないままにされると、伝送の際には鮮明であった信号が、受信の際にはぼけたまたははっきりしない信号として到達する。論理「1」および「0」のデジタル信号の列は、「4分の3」と「4分の1」の論理値の間のはっきりとしない一連の信号の振動として到達することとなり得る。

分散は多くの異なる源から起こり得る。これらの問題の多くは本質的に解決されたか、または回避されている。しかしながら、これまでほとんど見逃されてきた発生源は、光ファイバネットワーク内の一般的な素子の1つ、すなわち光アイソレータである。

今日の光ファイバ技術では、光信号を発生し、これを光ファイバ上で中継するのに典型的には半導体レーザが用いられている。これらのレーザは光信号の反射から特に影響を受けやすく、これによってレーザが不安定となったり、

その雑音が大きくなったりする。これらの反射信号がレーザに至るのをブロックするのに光アイソレータが用いられる。理想的には、これらの光アイソレータは順方向にはすべての光信号を伝送し、逆方向にはすべての信号をブロックする。

これらの光アイソレータのうちの多くは、反射信号をブロックする機構として光信号の偏光モードを用いる。本発明は、光学信号が伝送される距離が長くなるほど、かつ信号伝送速度が上昇するほど、これらの光アイソレータが分散の問題を引き起こし得ることを認めるものである。言い換えれば、今日、光アイソレータが広く応用され、高速の光通信ネットワークが長い距離に至るため、偏光モー

ド分散の問題はより顕著になると考えられる。

本発明は、偏光モード分散が低減された光アイソレータを提供することによってこれらの問題を解決する、または実質的に軽減する。

発明の概要

本発明は、光アイソレータにおける複屈折板の形態の補償素子を提供し、これは入力光ファイバからの光信号を視準する第1のGRINレンズと、第1の複屈折偏光子楔と、光ファラデー旋光器と、第2の複屈折偏光子楔と、出力光ファイバへの光信号を再び視準する第2のGRINレンズとを用いる。この光アイソレータを介した偏光モード分散は、板の速光軸をファラデー旋光器の板と同じ側の偏光子

の速光軸に垂直に配置し、板の厚さを予め定められた態様で選択することによって実質的に低減される。この態様で、異なる偏光モードの光線の光学距離が等化される。本発明はまた、アイソレータを介した偏光モード分散につながる「ウォーク・オフ」の最小化もを可能にする。

板は、ニオブ酸リチウムおよびルチル等の種々の複屈折材料から形成することができ、光学アイソレータの素子と種々の配置で設けられる。第2の偏光子楔に装着されるニオブ酸リチウムの板は、性能と簡単な製造アセンブリとの最良の組合せを与えると考えられる。

図面の簡単な説明

図1は、現在用いられているタイプの光アイソレータの図である。

図2Aは、図1の光アイソレータの中央の素子を介した光線の順方向の経路を示し、図2Bは、図2Aの光アイソレータの中央の素子を通る光線の逆方向の経路を示す。

図3は、本発明の一実施例に従う光アイソレータの中央の素子を通る光線の順方向の経路を示す。

図4は、図3の光アイソレータの中央の素子の種々のパラメータ間の関係を示すグラフである。

図5A-5Cは、本発明に従う補償板の異なる配置を示す。

図 6 は、本発明の別の実施例に従う光アイソレータの中央の素子を通る光線の順方向の経路を示す。

図 7 A は、図 6 に示される光アイソレータ内のニオブ酸リチウムから形成される補償板の厚さの関数としての時間遅延およびウォーク・オフを示すグラフであり、図 7 B は、補償板がルチルから形成される場合の同様のグラフである。

図 8 は、本発明の光アイソレータにおける複屈折素子に用いることができる材料およびその屈折率の表である。

図 9 は、本発明から利点を受ける光学スイッチ／減衰器の図である。

図 10 は、図 9 の光学スイッチ／減衰器の素子の光軸の配向を示す。

図 11 A は、オンにされたときの光学スイッチ／減衰器内の液晶セルの動作を示し、図 11 B は、オフにされたときの液晶セルの動作を示す。

図 12 A は、図 9 のスイッチ／減衰器の液晶セルの正面図であり、図 12 B は、図 12 A の液晶セルの断面図である。

図 13 A および図 13 B は、本発明に従う、種々の位置での補償板を備えた光学スイッチ／減衰器の概略の側面図である。

図 14 A および図 14 B は、本発明に従う、種々の位置での傾斜した補償板を備えた光学スイッチ／減衰器の概略の側面図である。

好ましい実施例の説明

図 1 は、一方向伝送について入来する光学信号の偏光モ

ードを用いるタイプの代表的な光アイソレータの断面図である。光アイソレータは、ここでは入力ファイバ 17 および出力ファイバ 18 として示される光ファイバの経路に置かれて、入力ファイバ 17 から出力ファイバ 18 に光信号を伝送し、出力ファイバ 18 から入力ファイバ 17 への光信号をブロックする。これらの光信号の偏光モードは、いかなる反射信号をもブロックするように用いられる。

光アイソレータはガラスのフェルール 10 を有し、これに入力ファイバ 17 が挿入される。フェルール 10 はファイバ 17 を整列させるのを助ける。入力ファイバ 17 の端部からの信号は、第 1 の GRIN (グレーデッドインデックス) レ

レンズ11によって伝送され、このレンズがファイバ17の端部からの光を視準する。GRINレンズ11からの視準された光は、複屈折結晶楔の形態の偏光子12を通過する。

光アイソレータの動作をよりよく示す図2Aに示されるように、視準された光は偏光子12への入射ビーム40によって表わされる。偏光子12はGRINレンズ11からの入射光を、結晶の光軸に沿って偏光されて常光線として示される図2Aの光線42で表わされる第1の光線と、光軸に垂直に偏光されて異常光線として示される図2Aの光線41として表わされる第2の光線とに分離する。

分離は、複屈折結晶が2つの屈折率、すなわち光軸に沿って偏光された光の屈折率 n_o と光軸に垂直に偏光された

光の屈折率 n_e とを有するために起こる。より小さい屈折率を有する複屈折材料の軸は、より大きな屈折率を有する軸と比較して、「速」軸と称することがある。光線41および42の双方とも、すなわち偏光子12からの光は、その後フェラーデ旋光器13によって45°回転される。旋光器13は典型的には不純物がドーパされたガーネット、またはその代わりにYIGから形成され、ブロック19によって表わされる永久磁石内に置かれる。

回転された光は、アナライザと称することもある第2の偏光子14によってさらに分離され、再び視準される。偏光子12と同様に、第2の偏光子14は複屈折結晶楔で形成される。この複屈折結晶の光軸は、第1の偏光子12の光軸に関して45°だけ配向される。したがって、第1の偏光子12からの常光線42は第2の偏光子14の常光線42でもあり、第1の偏光子12からの異常光線41は第2の偏光子14の異常光線41でもある。正味の結果は、第1の偏光子12から第2の偏光子14を介して移動した後、2つの視準された光線は互いから変位されることになる。2つの光線は次に組合されて、第2のGRINレンズ15によって出力ファイバ18の端部上の点に再び焦点を合わされる。やはり、出力ファイバ18はガラスのフェルルール16によって整列される。

図2Bに示されるように、逆方向においては、光線45によって表わされる出力ファイバ18からの光は偏光子1

4によって2つ、すなわち偏光子14の光軸に沿って偏光される常光線43と光軸に垂直に偏光される異常光線44とに分離される。ファラデー旋光器13を介して逆方向に通る際に、光線43および44の双方における光は 45° だけ回転される。この回転は順方向の光の回転と非相反であり、そのため第2の偏光子14からの常光線43は第1の偏光子12の光軸に垂直に偏光され、第2の偏光子14からの異常光線44は第1の偏光子12の光軸で偏光される。第1の偏光子12に入射する第2の偏光子14からの常光線および異常光線43および44は、その場所が入替わっている。偏光子12において、常光線は参照符号43Aで示され、異常光線は44Aで示されて、これらの光線がそのそれぞれの偏光面から 90° だけ偏光されることを示している。

この入替えのために、第1の偏光子12を通過する際に光は偏光子12を平行光線として射出しない。これは、偏光子12を射出する2つの光線43Aおよび44Aについての異なる屈折角 $\theta \pm \Delta\theta$ によって示される。この非平行の光はGRINレンズ11によって入力ファイバ10の端部には位置しない点に焦点を合わされる。したがって、逆方向の光は入力ファイバ10には戻らない。このタイプの光アイソレータのより詳細な説明を得るには、1991年11月1日に本発明者によって出願され、本譲受人に譲受された「改良された光アイソレータ」(AN IMPROVED OPTICAL IS

OLATOR)と題する米国特許出願連続番号第07/786,434号を参照されたい。

その定義では、複屈折結晶には2つの異なる屈折率があり、常光線および異常光線をもたらす。本発明は、光アイソレータを介した分割された光線の経路が2つの異なる光学距離を有し得ることを認めるものである。したがって、信号が後にGRINレンズ15によって再び組合せられても、この信号は他方よりも先、または後の偏光モードを有する。2つの偏光モード間には時間遅延があり、信号は分散されている。長い距離にわたって光学信号が通過し、光ファイバを介して信号が移動する際に、分散効果が増大される。さらに、光ファイバネットワーク内のアイソレータを備えた多くの光中継器がこの問題をさらに助長する。

図2Aは、別の、より微妙な分散源をも示す。入射ビーム40が分割され、2

つの光線41および42は第2の偏光子14を射出して、第2のGRINレンズ15によって組合される。2つの光線41および42は、それぞれ s_1 および $s_1 + s_2$ だけ入射ビーム40の元の進行ラインから変位することに注目されたい。異常光線41と常光線42との間の変位の差 s_2 を、「ウォーク・オフ」と称することがある。公称上は互いに平行である2つの光線41および42はウォーク・オフのためにGRINレンズ15に同じ点では入射しないので、2つの線はGRINレンズ15によって完全には再び組合せられない。これによって出

カファイバ18において光学信号の分散が起こる。したがって、ウォーク・オフが最小にされることが望ましい。

本発明では、信号の2つの偏光モードの光路の距離が等化されるように、説明した光アイソレータの中央素子、すなわち第1および第2の偏光子と旋光器とともに補償板が配置される。この板は厚さ d を有し、定義では2つの異なる屈折率を有する複屈折結晶で形成される。旋光器の一方側または他方側に配置された板は、その速軸が旋光器の同じ側の偏光子の速軸に垂直であるように配置される。板の厚さは、アイソレータにおける2つの偏光モードの光学距離が実質的に等化され、ウォーク・オフを最小にするように選択される。

補償板は偏光子と同じ材料から形成されてもよい。このような場合には、それが速軸であろうとなかろうと、板の光軸が旋光器の同じ側の偏光子の光軸に垂直に配置される。逆に、補償板は、第1および第2の偏光子の複屈折結晶と反対である屈折率の相対的大きさを有する材料から形成されてもよい。

たとえば、本発明の一実施例で企図されているように、偏光子は、その常光線の屈折率が異常光線の屈折率を上回る($n_o > n_e$)ニオブ酸リチウムから形成される。補償板は、その常光線の屈折率が異常光線の屈折率を下回る($n_o < n_e$)ルチルから形成される。このような場合には、ルチルの補償板の光軸が旋光器の同じ側の偏光子の光

軸に平行に配置される。板の速軸はここでも偏光子の速軸に垂直に配置されることに注目されたい。

本発明の一実施例が図3に示される。順方向の光線がトレースされ、本発明の動作を示している。わかりやすくするために、先の図面で述べたのと同じ機能を果たす素子には、この図面およびこの後の図面にも同じ参照符号が用いられている。

図3に示されるように、補償板20が第1の偏光子12とファラデー旋光器13との間に配置される。第1および第2の偏光子12および14は角度 θ の楔型であり、その中点での厚さは $1w$ である。板20は厚さ d を有し、旋光器13は厚さ t_f を有する。永久磁石のためのブロック19は図示されていない。第1および第2の偏光子12および14の間の分離は S であり、偏光子12と板20との間隔は t_1 であり、板20と旋光器13との間隔は t_2 であり、旋光器13と第2の偏光子14との間隔は t_3 である。

第1の偏光子12、板20、旋光器13および第2の偏光子14の屈折率はそれぞれ、 n_{12} 、 n_d 、 n_f 、および n_{14} である。アイソレータの中央素子を介した光線の屈折および入射の種々の角度は、 θ_1 ないし θ_7 として示される。

スネルの法則より、アイソレータの中央素子を介して順方向に光線が移動する総光学距離は、以下のように計算される。

$$L = \sum_{k=1}^7 n_k l_k \quad (1)$$

ここで l_k は媒質 k を介して光線が進む物理的距離であり、 n_k は媒質 k に関する屈折率である。図3の実施例では、7つの媒質がある。もちろん、複屈折素子は2つの屈折率を有し、空気の屈折率は1である。光アイソレータの中央の素子を介して光線が移動する時間は、以下の式によって与えられる。

$$T = \frac{L}{C} \quad (2)$$

ここで C は真空での光の速度である。

常光線と異常光線との間の時間分散は、補償板20、ならびに偏光子12および14の複屈折材料の常光線および異常光線屈折率から生じる時間の差によって決定される。

この差は、以下の直接的な式によってかなり正確に与えられる。

$$\tau_d = T_o - T_e = \frac{L_e - L_o}{C} \quad (3)$$

小さい角度 ($\theta \leq 15^\circ$) に関しては完璧な近似である1次近似によって、以下のとおりとなる。

$$\tau_d = \frac{2\Delta n \cdot l_v}{C} - \frac{\Delta n_d \cdot d}{C} \quad (4)$$

ここで Δn は、複屈折偏光子12および14の屈折率の差を表わし、 Δn_d は板20の屈折率の差である。

等式(4)の第1の項は、補償板20なしで発生された2つの偏光モード間の時間遅延を表わし、第2の項は補償板20から発生した時間遅延を表わす。補償板20なしでの従来の光アイソレータ ($\Delta n = 0.1$ かつ $l_v = 0.8\text{mm}$) に関する時間分散を計算すると、約53ピコ秒の時間遅延となる。

偏光モード分散を最小にする、またはこれを避けるために、時間遅延 τ_d はできるだけ小さくなくてはならない。これは、(1) 補償板20の速軸が旋光器13の同じ側の偏光子、この場合には第1の偏光子12の速軸に垂直であるとき (または、言い換えれば、補償板20が、2つの光線に対するその動作がアイソレータの他の素子の分散効果を相殺するように配置される)、かつ (2) 板20の厚さ d が以下のように決定されるときに起こる。

$$d = \frac{2\Delta n}{\Delta n_d} \cdot l_v \quad (5)$$

図4は、楔形偏光子12および14の midpoint での幅 l_w のいくつかの異なる値に関しての板20の厚さ d と複屈折率の割合 $\Delta n / \Delta n_d$ との関係を示す。

図5A-5Cは、光アイソレータ内の補償板20の種々の配置を示す。もちろん、これらのすべての配置において、板20の速軸はファラデー旋光器13の同じ側の偏光子の速軸に垂直である。たとえば、図5Aでは、板20の速軸は第2の偏光子14の速軸に垂直である。図3と同じ配置である図5Bでは、板20の

速軸は第1の偏光子12の速軸に垂直であり、図5Cでは板20の速軸は偏光子14に垂直である。

これらの配置はすべて偏光モード分散を効果的に低減する。これらは、所望のようにその挿入損失が小さい。図5Aおよび5Bの配置は高い反射を有するが、図5Cでは低い。(言い換えれば、図5Aおよび5Bの配置では入力戻損失が低く、図5Cでは高い。)最後に、図5Cの配置は図5Aおよび5Bの配置よりもウォーク・オフを低減するのにより効果的であることがわかった。組立を簡単にするために、典型的には、補償板20が、2つの素子の速軸がそれで配置される偏光子に接することが望ましい。図5Bの配置では、組立を簡単にするために光学板20が偏光子12から分離されていてもよいが、図5Cの配置は、板20が偏光子14から分離されていると組立が非常に難しい。

これらを考慮すると、図5Cの光アイソレータの配置が、偏光モード分散が低く、簡単に組立てられることとなる。

図6は、偏光板20が第2の偏光子14と直接接触する、このような配置の詳細を示している。図3の配置と同様に、

第1の偏光子12、ファラデー旋光器13、第2の偏光子14、偏光板20を介して入射光がトレースされ、光学距離、結果としての時間分散およびウォーク・オフがスネルの法則を用いていかに計算され得るかを示している。図3と実質的に同じ基準パラメータを用いて、図6の配置に関する光学距離は以下のとおりとなる。

$$L = \sum_{k=1}^7 n_k l_k \quad (6)$$

これは、第1の偏光子12から始まる7つの媒質を介した光線の移動に関する。図3に関して説明したように、時間分散 τ_d は常光線および異常光線に関して、2つの光線の光学距離の差と光の速度で除算することによって計算できる。 n_{71} における差、常光線および異常光線が板20を出る際に空气中を必ず移動することによるわずかな差を考慮に入れる微妙な点によって、この計算を厳密なものにしている。図6に示されるように、 $l_7 = h_4 \cdot \tan \theta$ であり、 $n_7 = 1.0$

である。

常光線および異常光線からのウォーク・オフ δ は以下のとおりである。

$$\delta = |h_o - h_d| \quad (7)$$

ここで h_o および h_d は、それぞれ元の進行ライン 30 からの常光線および異常光線の全変位である。図 6 の変位の符号 h_i を用いると以下のようにになる。

$$\delta = \left| \sum_{k=1}^4 h_{ko} - \sum_{k=1}^4 h_{kd} \right| \quad (8)$$

板 20 の厚さ d 対時間分散 τ_d のニオブ酸リチウムの補償板についての結果が図 7 A にプロットされる。偏光子 12 および 14 もまた、 8° の楔角度でニオブ酸リチウムから形成され、分離距離 S は 2 mm であり、ファラデー旋光器 13 は 1 mm の厚さ t_f を有する。同じグラフがまた、プレート 20 の厚さ d 対ウォーク・オフ δ を示す。図 7 B は補償板 20 がルチルから形成される場合のプロットを示す。他の動作パラメータはすべて図 7 A と同じである。

図 8 は、異なる信号波長での 3 つの異なる複屈折材料であるルチル、方解石およびニオブ酸リチウムの屈折率の表である。おもしろい観察結果としては、ルチルの異常光線の屈折率は常光線よりも大きい、方解石およびニオブ酸リチウムの屈折率はその逆であることである。この表から、本発明の利点を達成するようにその特定の要件に従ってアイソレータを構成するのに、第 1 の偏光子、第 2 の偏光子および補償板に種々の材料を選択できることが明らかである。適切なパラメータを選択することによって、時間分散 τ_d を排除し、光アイソレータを介したウォーク・オフを

最小にすることが可能である。偏光モード分散は実質的に低減される。

本発明はまた、光アイソレータ以外の複屈折性に依存する装置にも適用できる。このような装置の 1 つである、新規な光学スイッチ／減衰器が本発明の利点を受け、J・J・パン (J. J. Pan) によって同日に出願され、本譲受人に譲受された「偏光に左右されない光学スイッチ／減衰器」 (A POLARIZATION-INDEPENDENT

OPTICAL SWITCH/ATTENUATOR) と題した特許出願に開示される。この特許出願はここに引用によって援用される。

図9は、光学スイッチ／減衰器の要素を断面で示す図である。光学スイッチ／減衰器は上述の光アイソレータと同様の構成を有する。入力光ファイバ57と関連する第1のGRIN（グレーデッドインデックス）レンズ51と、出力光ファイバ58と関連する第2のGRINレンズ55と、第1の楔形複屈折偏光子52と、液晶セル50と、第2の楔形複屈折偏光子54とが存在する。たとえば図1に示されるようなファイバ57および58を保持するためのフェルールは図示されていない。制御信号に応答して、液晶セル50は第1のGRINレンズ51からの光信号を制御可能に回転させる。

液晶セル50の結果としての状態に依存して、光学信号は出力ファイバ58に伝送されるかもしれないし、またされないかもしれない。言い換えれば、光学スイッチが説明

されたことになる。この信号の強さは、装置が減衰器として動作するように調整することができる。

図10は、図9の液晶セル50と偏光子52および54との種々の光軸の配向を示す。第1の偏光子52の光軸は、第1のGRINレンズ51からの視準された光の進行ラインに垂直である任意の方向に配置される。第2の偏光子54の光軸は、これが第1の偏光子52の光軸から90°だけ回転されて視準される光ビームの進行ラインに垂直になるように配置される。セル50がオンになると、液晶の光軸は第1の偏光子52の光軸から45°にあり、セル50は、光信号がセル50を介して進む際にその180°の位相のリターデーションがあるような厚さを有する。

本発明に従う光学スイッチの動作は図11Aおよび11Bに示される。図11Aにおいて、セル50がオンにされると、セル50内の液晶が整列される。入射ビーム60が第1の複屈折偏光子51に当たり、2つの偏光モードに分割され、その一方は異常光線に関し、他方は常光線に関する。

液晶セル50がオンになると、光信号は90°だけ回転される。言い換えれば、

異常光線は第1の偏光子51の常光線の軸に沿って偏光され、常光線はここで偏光子51の異常光軸に沿って偏光される。

図11Bは、液晶セル50がオフにされたときのスイッチの動作を示す。先の場合のように、第1の偏光子51は入射光60を、偏光子51の異常光軸および常光軸に沿っ

た偏光モードで2つの光線に分割する。液晶セル50がオンにされていないので、第1の偏光子51からの光は効果なく通過する。第2の偏光子54は、第1の偏光子51の光軸に関して90°で配置された光軸を有するので、第1の偏光子51の異常光軸に沿って偏光された異常光線は、偏光子54の常光軸と一致する。偏光子51の常光軸に沿って偏光された光である常光線は、第2の偏光子54の異常光軸と一致する。したがって、各光線が第1および第2の偏光子51および54において異なる屈折率を有する。したがって、光線は第1のGRINレンズ51からの元の進行ラインから偏向される。

コリメータ／リコリメータとして作用するGRINレンズへの入射角に対して非常に敏感であるため、異常光線および常光線の双方に関して小さな偏向角度 δ が大きな減衰を生む。あらゆる意図および目的のために、どの光も入力ファイバ57から出力ファイバ58に受取られない。入力ファイバ57からの光は出力ファイバ58からブロックされる。

図12Aおよび12Bは、液晶セル50の構成の詳細を示す。図9に示されるように、第1のGRINレンズ51の方に向いたセル50の表面は、性能をよりよくするために反射防止膜で被覆されている。図12Aは、板70が観察者に最も近い状態でのセル50の正面図を示す。網がかけられた領域47は、液晶材料を含むセルの領域を表わす。

セルの側面図は、図12Aの点線12B-12Bによって示される図12Bに図示される。

セル50はガラス板70および71を有し、その各々が、他方に面してインジウム酸化第1錫のコーティング72および73でそれぞれ被覆された表面を有す

る。図面に示されるように、板70および71は互いからずらされて、コーティング72および73の一部を露出させ、これらがセル50のための透明電極を形成する。ポリマーの絶縁層74および75が、互いに面するコーティング72および73の部分を被覆する。層74および75にポリイミドを用いてもよい。板70と71との間のポリスチレンビーズで形成されるスペーサ76は、板の間の厳密な分離を維持し、セル50の液晶のための空洞を形成する。アイオワ州、ワーリントン (Warrington) のポリサイエンス社 (Polysciences) の直径 $15.8\mu\text{m}$ のビーズが、スペーサ材料としてよく機能することがわかった。スペーサ76の厚さに依存して、マイラー、カプトン、ポリプロピレンおよびポリカーボネート等の種々の材料の薄膜およびファイバロッドがスペーサとして用いられ得る。UV (紫外光) で硬化されたエポキシが、スペーサ76をポリマー層74および75 (ならびに板70および71) に結合させる。

板70および71は互いにきっちりと整列されるわけではないので、導電性コーティング72および73のある部分は露出される。これによって、制御端子78および79

が、示されるようにコーティングに接続されることが可能となる。制御電極78および79上の信号が、セル50の制御された動作のためのコーティング電極間の電界を形成する。端子78および79における信号が一方または他方の方向で結晶を整列させる電界を形成し、セル50の「オン」および「オフ」状態を形成する。もちろん、これらの制御信号は複数であるものの、制御端子78および79のうちの一方を基準電位、たとえば接地に接続して、残りの制御端子を接地された端子に関して正または負に駆動することによって、単一の制御信号にしてもよい。

セル70の内容物に関して、ネマティックおよびスメクティック液晶のいずれを用いてもよい。しかしながら、スメクティックC*型液晶が好ましい。これらの液晶は強誘電性である、すなわちこれらは自己偏光性であり、外部から与えられる電界での再配向が可能である。このような強誘電性液晶は、ネマティック液晶の約1,000倍早く切換えることができることがわかった。これらの強誘電性液

晶はまた、より低いしきい値電圧を有する。

本発明は、偏光に依存しない光学減衰器として動作するように適合させることもできる。第1の偏光子52、第2の偏光子55およびセル50の軸を適切に整列させることによって、入力ファイバ57から出力ファイバ58への光学信号のパワーが予め定められた量だけ低減され得る。ある意味で、スイッチは減衰が完全な減衰器である。

減衰器の一例は、アナログ制御信号に応答するセル50を有する。制御信号の強さに応答して、液晶の光軸は、第1の偏光子からの光信号が 90° だけ回転されるまで、回転される。このように、入力ファイバ57から出力ファイバ58への光信号は、制御信号の強さに直接比例して減衰される。フルの強さで、信号は完全にブロックされる。信号が段階的に減衰されるように、制御信号をデジタル化した態様で動作させることも可能である。

説明したスイッチの変形例では、偏光子52および55の軸を互いに関して再び整列させる。液晶セルがオンにされたときでも、すべての光がブロックされるわけではない。このように、軸の再整列に依存して、セル50がオンにされたときに、光の予め定められた部分のみがブロックされる。この効果は、オンにされたときに液晶の光軸を再整列されることによっても達成できる。

このスイッチ／減衰器は複屈折偏光子51および55の動作によって動作するので、先に説明した偏光モード分散の源として作用する。図13Aおよび13Bに示されるように、複屈折材料の補償板80が液晶セル50のいずれの側に配置されても、偏光モード分散は実質的に低減できる。図14Aおよび14Bは他の配置を示し、補償板80が傾斜して、第2の偏光子54と接した配置（図14A）と第2の偏光子54から離れた配置（図14B）とを示す。光アイソレータに関して説明した同じ計算を用いて、補償板

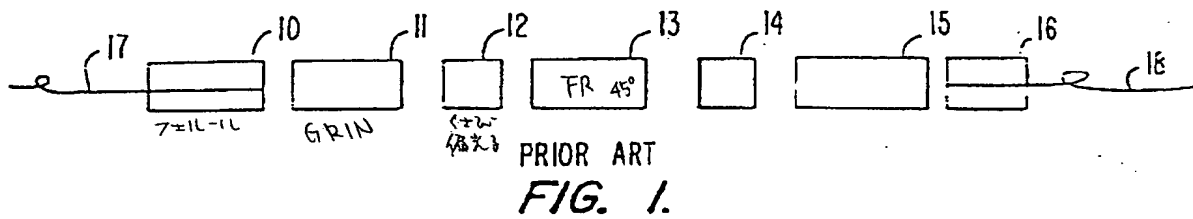
の正しい寸法およびパラメータを決定できる。

しかしながら、多くの液晶材料が複屈折の特性を有するので、通過の際にセル50が偏光モード分散のさらなる源となり得ることに注目されたい。このような

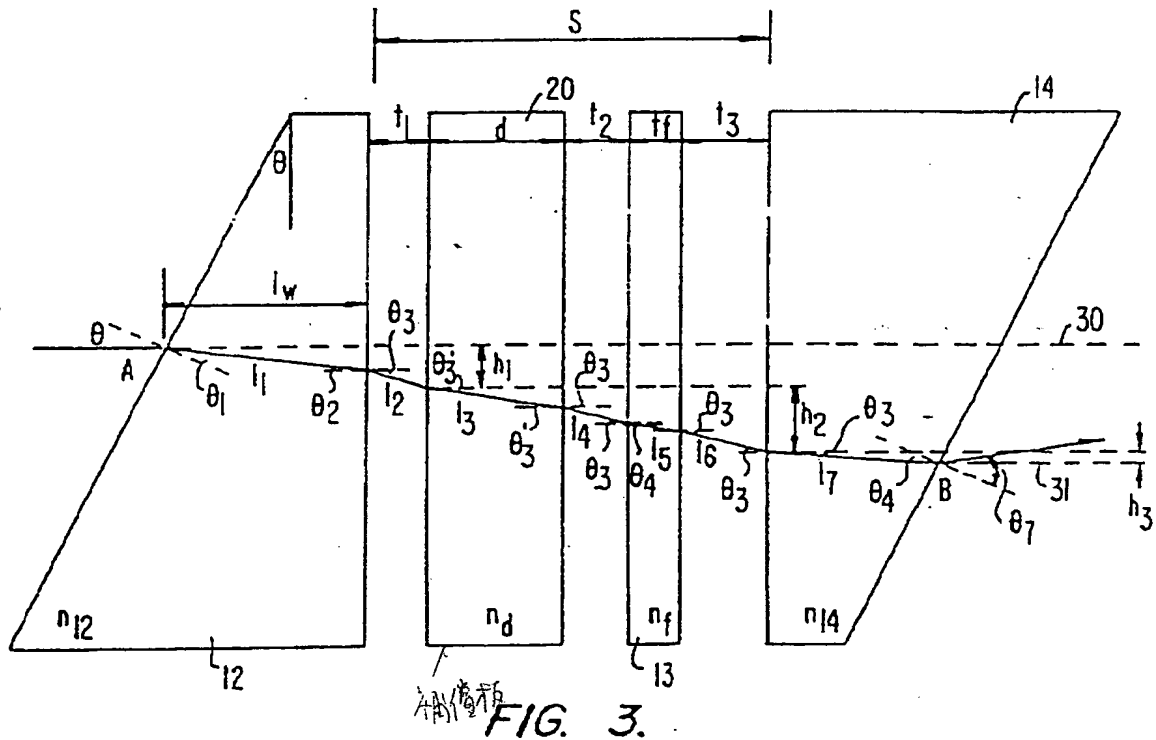
液晶を選択すると、スイッチ／減衰器の種々の素子の寸法、パラメータおよび配置の決定が光アイソレータの場合よりも複雑になる。

本発明の好ましい実施例を完全に説明したが、種々の代替例、変形例および均等物を用いることができる。本発明は上述の実施例に適切な変更を加えることによって同じように適用できる。したがって、上述の説明は、添付の請求の範囲によって規定される本発明の範囲を制限するものと理解されるべきではない。

【図1】



【図3】



【図2B】

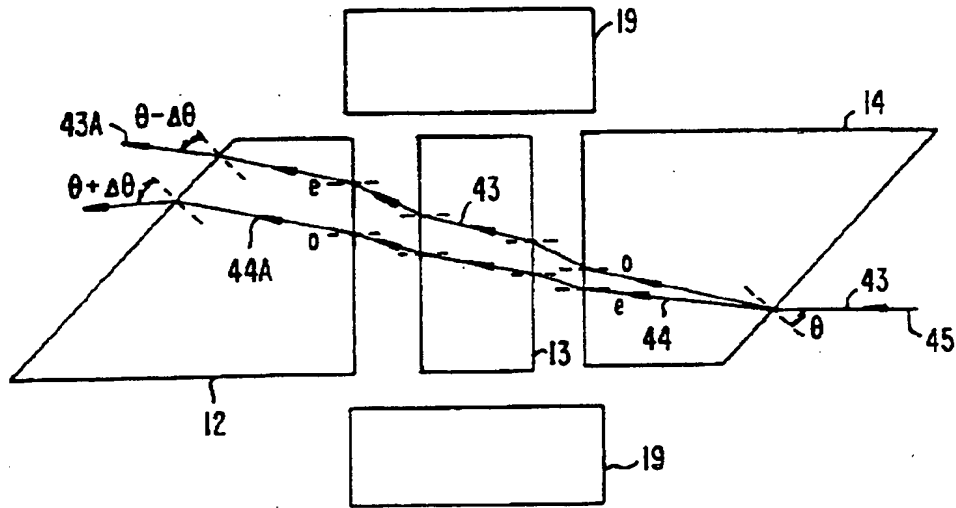


FIG. 2B.

【図5A】

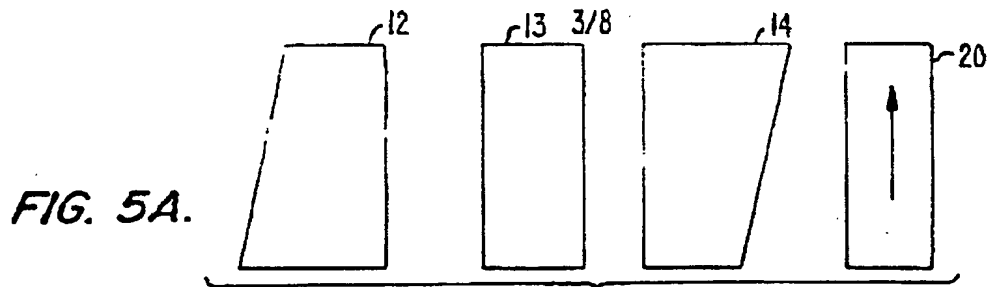


FIG. 5A.

【図5B】

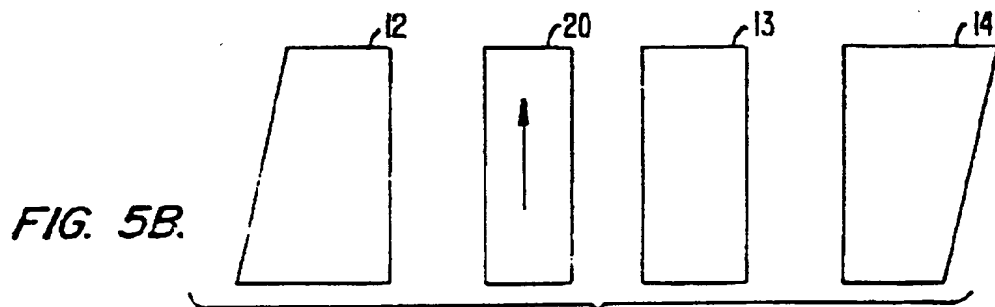


FIG. 5B.

【図7A】

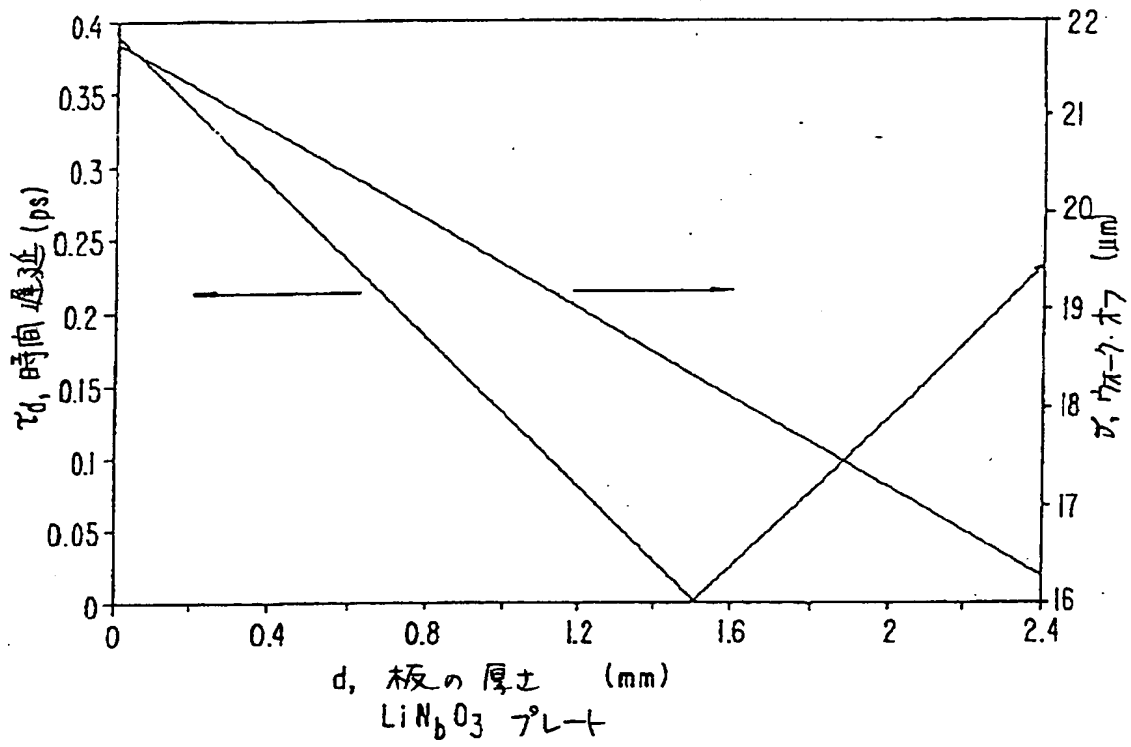


FIG. 7A.

【図7B】

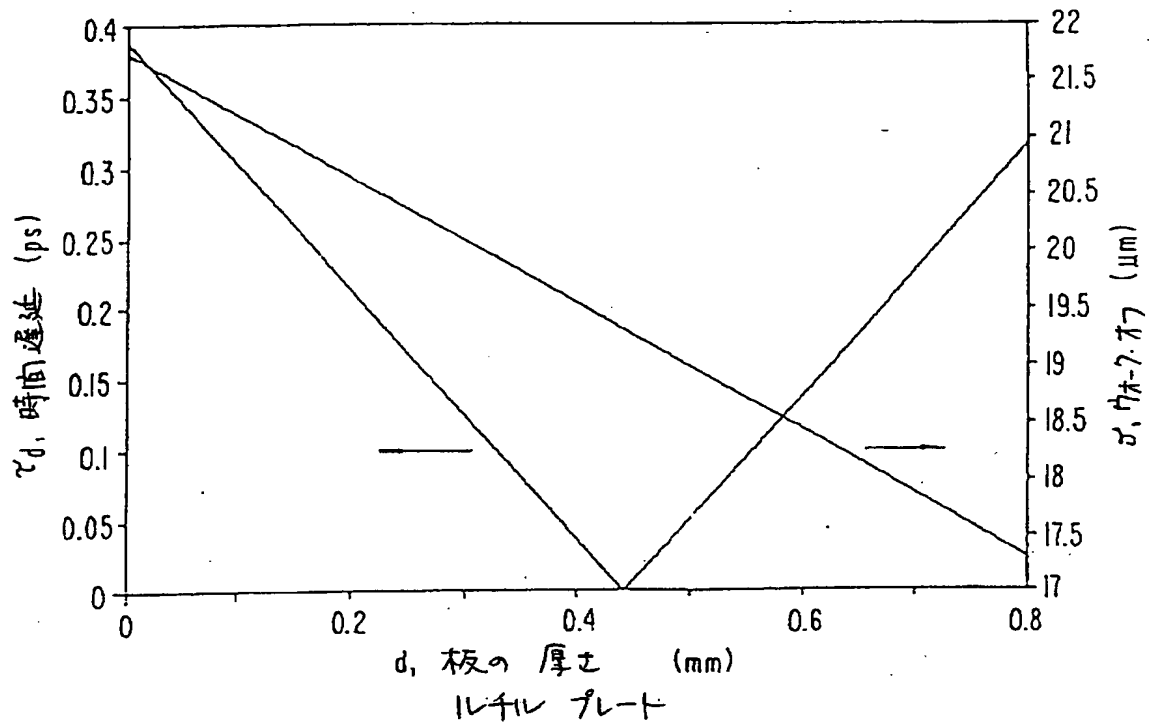


FIG. 7B.

【図8】

いくつかの典型的な結晶の屈折率

	波長 (nm)	n_o	n_e
正 ルチル (TiO_2)	396.8	3.0128	3.4261
	434.0	2.8587	3.2232
	486.1	2.7346	3.0631
	527.0	2.6738	2.9857
	589.0	2.6131	2.9089
	656.1	2.5710	2.8560
負 方解石 (CaCO_3)	546.1	1.6617	1.4879
	579.1	1.6591	1.4867
	589.3	1.6584	1.4864
	656.3	1.6544	1.4846
	706.5	1.6521	1.4836
	800.7	1.6487	1.4821
	904.7	1.6458	1.4810
	1041.7	1.6428	1.4798
LiNbO_3	706.5	2.2699	2.1886
	809.3	2.2541	2.1749
	871.7	2.2471	2.1688
	960.0	2.2393	2.1622
	1014.0	2.2351	2.1584
	1092.1	2.2304	2.1545
	1157.9	2.2269	2.1515
	1287.8	2.2211	2.1464
	1440.0	2.2151	2.1413
	1638.2	2.2083	2.1366

FIG. 8.

【図9】

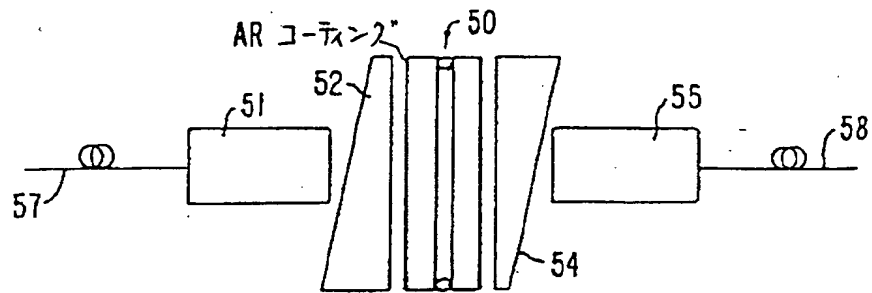


FIG. 9.

【図10】

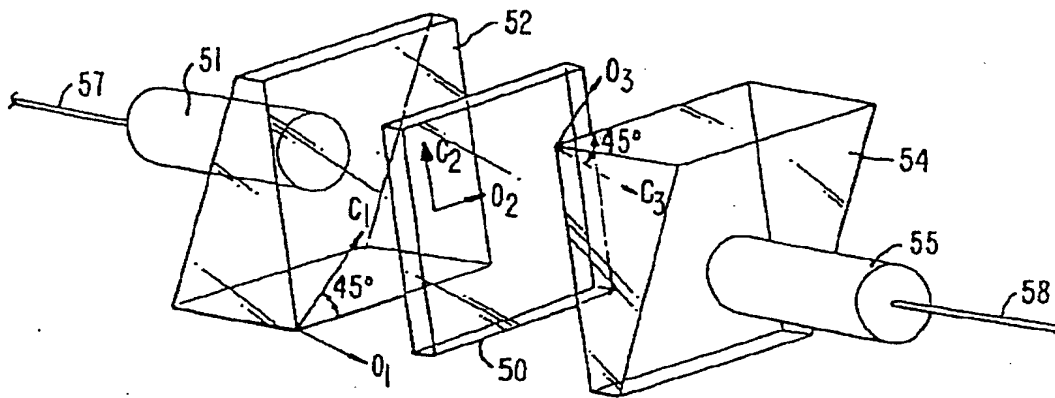


FIG. 10.

【図11A】

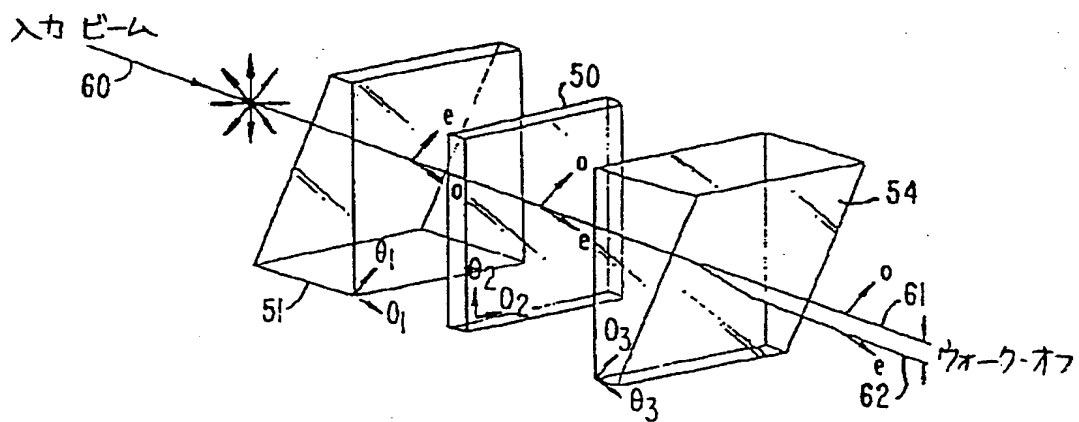


FIG. 11A.

【図11B】

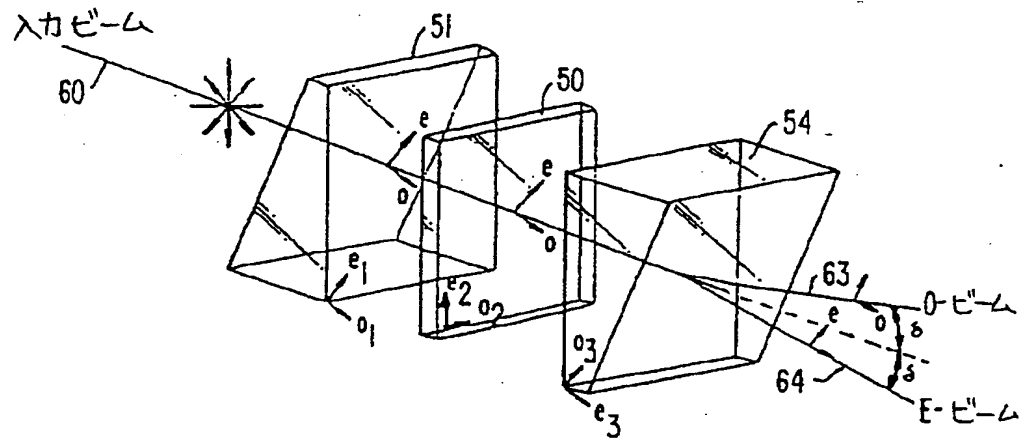


FIG. 11B.

【図12A】

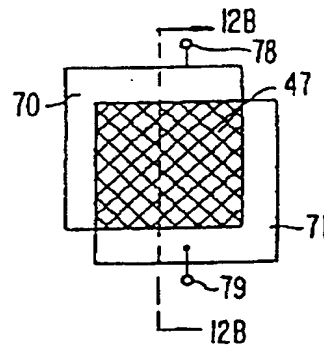


FIG. 12A.

【図12B】

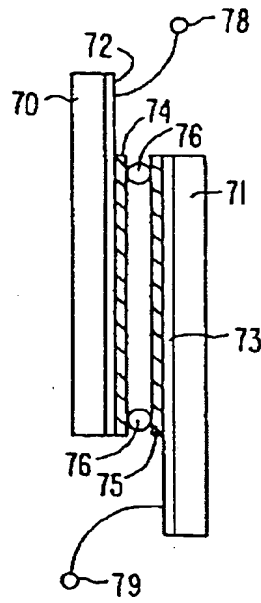


FIG. 12B.

【図13A】

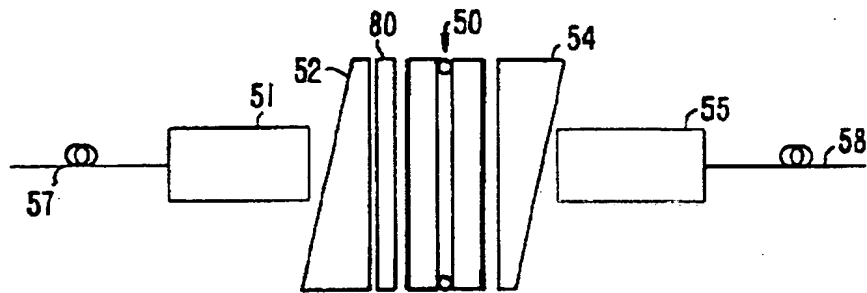


FIG. 13A.

【図 13B】

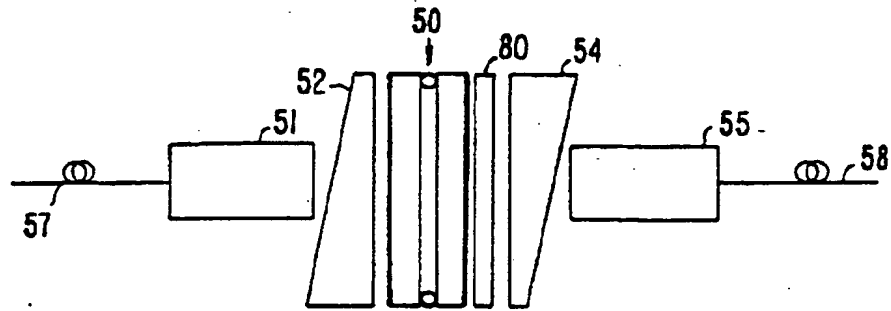


FIG. 13B.

【図 14A】

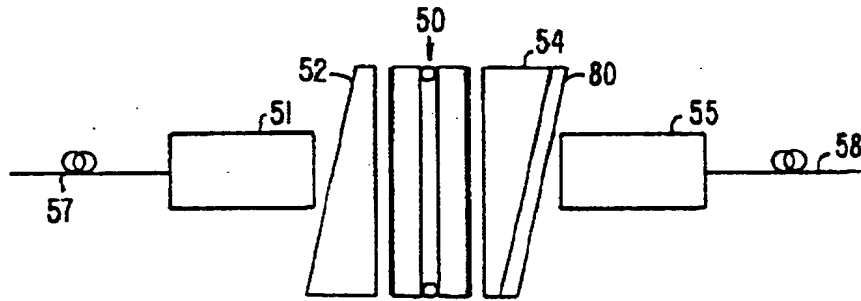


FIG. 14A.

【図 14B】

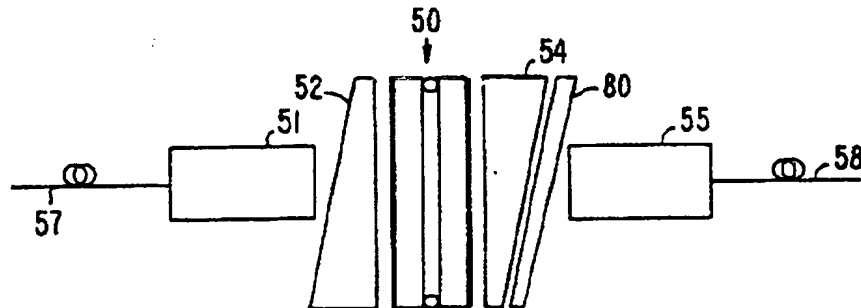


FIG. 14B.

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US94/00776

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(5) : G02F 1/01; G02B 5/30 US CL : 385/11, 27, 39, 140 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 385/11, 15, 27, 39, 140 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) APS Keywords: optic?(2a)(isolator or attenuator or switch); polariz?; birefringen?; polariz?(5a)dispers###.		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 4,239,329 (MATSUMOTO) 16 DECEMBER 1980 see lines 38-54 of column 2, lines 41-44 of column 3, lines 25-68 of column 4 and Figures 1A, 4A, 7A.	1-3, 8-10, 19-20
Y	US 5,151,955 (OHTA et al) 29 September 1992, see lines 38-44 of column 4, lines 28-60 of column 7.	4-7, 11-18, 21-27
Y	US 5,132,822 (BUHRER et al) 21 July 1992, see Figure 1.	28-34
A	US 4,548,478 (SHIRASAKI) 22 October 1985, see Figures 3A-3B.	1-27
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:	* T* later documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to underlain the principle or theory underlying the invention * X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone * Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art * Z* document member of the same patent family	
* A* documents defining the general state of the art which is not considered to be part of particular relevance		
* E* earlier documents published on or after the international filing date		
* L* documents which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)		
* O* documents referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		
* P* documents published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
28 March 1994		04 APR 1994
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. NOT APPLICABLE		Authorized officer HEMANG SANGHAVI Telephone No. (703) 305-3484